

## 아공정, 공정, 과공정 조성의 Al-Cu 주조합금에서의 $Y_2O_3$ 분말의 분산 거동에 대한 연구

박진주 · 김광호 · 홍성모 · 이상훈 · 이민구 · 이창규\*  
한국원자력연구원, 원자력나노소재응용랩

### An Investigation of Dispersion Behavior of $Y_2O_3$ Ceramic Particles in Hypo, Eutectic and Hyper Binary Al-Cu Cast Alloys

J. J. Park, G. H. Kim, S. M. Hong, S. H. Lee, M. K. Lee and C. K. Rhee\*  
Nuclear Nano Materials Development Lab., Korea Atomic Energy Research Institute,  
Daejeon, 305-600, South Korea  
(Received March 30, 2007; Accepted April 16, 2007)

**Abstract** In this work, the dispersion behavior of  $Y_2O_3$  particles in binary aluminum (Al)-copper (Cu) cast alloy was investigated with respect to Cu contents of 20 (hypoeutectic), 33 (eutectic) and 40 (hypereutectic) wt.%. In cases of hypo and hypereutectic compositions, SEM images revealed that the primary Al and  $\theta$  phases were grown up at the beginning, respectively, and thereafter the eutectic phase was solidified. In addition, it was found that some of  $Y_2O_3$  particles can be dispersed into the primary Al phase, but none of them are observed inside the primary  $\theta$  phase. This different dispersion behavior of  $Y_2O_3$  particles is probably due to the difference in the values of specific gravity between  $Y_2O_3$  particles and primary phases. At eutectic composition,  $Y_2O_3$  particles were well dispersed in the matrix since there is few primary phases acting as an impediment site for particle dispersion during solidification. Based on the experimental results, it is concluded that  $Y_2O_3$  particles are mostly dispersed into the eutectic phase in binary Al-Cu alloy system.

**Keywords** : Dispersion behavior,  $Y_2O_3$  particles, Al-Cu cast alloy, Primary phase, Specific gravity

### 1. 서 론

지난 20여년간 입자강화 금속복합재(PMMCs, particulate-reinforced metal matrix composites)는 우수한 탄성, 강도 및 열적 안정성 등을 바탕으로 항공, 자동차 및 군수 산업 등 다양한 분야에서 중요하게 연구되어 왔다<sup>1-7)</sup>. PMMCs는 금속 기지와 강화입자로 구성되어 있는데, 강화입자로는 주로 세라믹을 사용한다. 이러한 PMMCs를 제조하는 방법은 여러 가지가 있는데, 주로, 분말야금, 주조 및 infiltration 방법 등에 의해서 제조된다<sup>8-14)</sup>. 이러한 방법들 중에서 주조법은 공정의 단순성 및 대형 부품 생산에 가장 용이한 경제성 때문에 상업적으로 대용량 제품 생

산에 유리한 것으로 인식되어져 왔다<sup>15)</sup>. 주조법은 stir casting, compocasting, squeeze casting 등 다양한 방법이 있는데, 미세한 세라믹을 이용하는 PMMCs를 제조하기 위해서 stir casting 법이 많이 이용되고 있다.

최근 들어, 알루미늄 및 그 합금들은 경량이면서도 우수한 기계적 특성과 부식 저항성으로 인하여 기지 금속으로 널리 사용되고 있다<sup>16-18)</sup>. 그러나, 강화재로 사용되는 세라믹 입자들의 주조 조직 내에서 합금 성분에 따른 분산 거동에 대해서는 거의 연구가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 이원계 알루미늄-구리 합금에서 구리 성분의 함량에 따른 세가지 조성, 즉, 아공정(hypoeutectic), 공정

\*Corresponding Author : [Tel : +82-42-868-8551; E-mail : ckrhee@kaeri.re.kr]

(eutectic) 그리고 과공정(hypereutectic) 주조 조직에서  $Y_2O_3$  세라믹 입자의 분산 거동에 대하여 미세 주조조직 변화를 고찰함으로써 연구하였다.

### 2. 실험방법

본 연구에 사용된 알루미늄-구리 이원계 주조 합금은 stir casting 방법을 이용하여 제조하였으며, 이때 구리의 조성은 20, 33, 40 wt.%로 달리하여 주조하였다. 그림 1은 알루미늄-구리 이원계 합금의 상태도를 나타내고 있다. 구리의 함량이 20 wt.%일 경우 아공정, 33 wt.%는 공정 그리고 40 wt.%는 과공정 조성임을 알 수 있다. 강화재로 사용하는 세라믹 입자는 1~5  $\mu m$  정도의 크기를 가지는  $Y_2O_3$  입자를 사용하였다. 합금 주조용해는 전기로 내에서 흑연 도가니를 사용하여 용해하였으며, 세라믹 입자의 용탕 내로의 장입을 돕기 위하여 흑연 임펠러를 도가니 내부에 장착하여 주조 공정 중에 700 rpm으로 교반하였다. 세라믹 입자는 주조 공정 중에 흑연도가니의 상부로 장입되었으며, 주조 공정은 아르곤 가스 분위기 하에서 진행되었다. 주조된 합금은 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 구리 조성에 따른 미세조직 변화를 관찰하였으며, 주조 조직 내에서의  $Y_2O_3$  세라

믹 입자의 분포는 에너지분산분광법(EDS)을 이용하여 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 2는 구리의 함량이 20 wt.%인 아공정 조성에서  $Y_2O_3$  세라믹 입자를 분산시킨 알루미늄 주조 합금 조직에 대한 SEM 사진과 EDS 스펙트라를 나타내고 있다. 이 그림에서는 3가지 종류의 이미지가 관찰되는데, 미세한 수지상 조직을 가지는 공정 조직과, 조대한 수지상 조직을 갖는 초정 알루미늄, 그리고 공정 조직 및 일부 초정 알루미늄 내에 분산되어 있는  $Y_2O_3$  세라믹 입자를 볼 수 있다. 즉, 초정 알루미늄의 경우  $Y_2O_3$  세라믹 입자가 분산되어 있는 상과 분산되어 있지 않은 두 종류의 조직이 관찰되는 것을 알 수 있었다.  $Y_2O_3$  세라믹 입자의 존재는 EDS 스펙트라를 통하여 확인하였다.  $Y_2O_3$  세라믹 입자는 미세조직 이미지에서 흰색으로 보여지고 있으며, 작은 클러스터들을 형성하면서 기지 조직 내에서 분포하는 것을 관찰할 수 있다. 그림 1의 상태도를 참고하면, 응고 초기에는 초정 알루미늄 상이 먼저 응고되고 이후 공정 상이 응고되는 것을 알 수 있다.

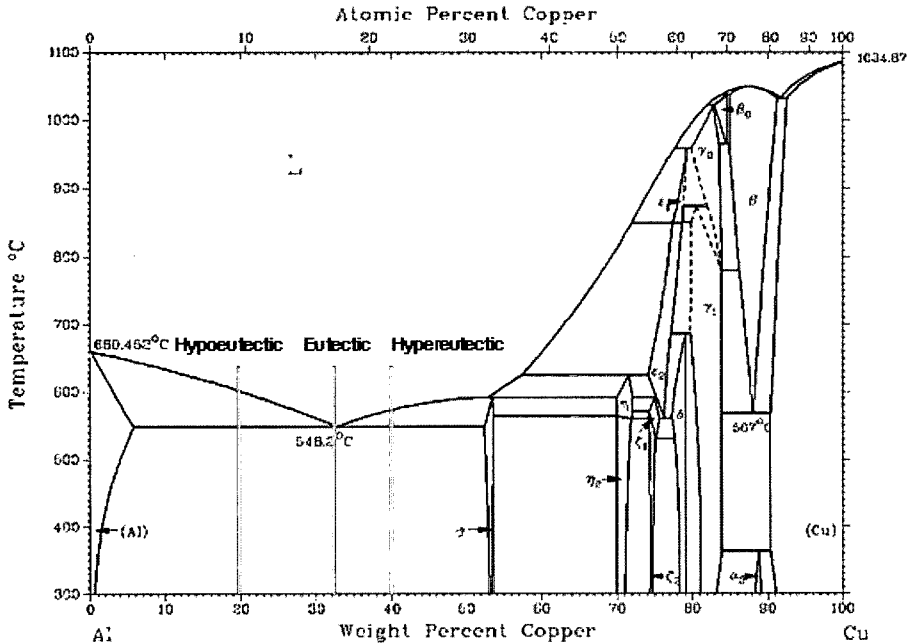


Fig. 1. Phase diagram of binary Al-Cu alloy system.

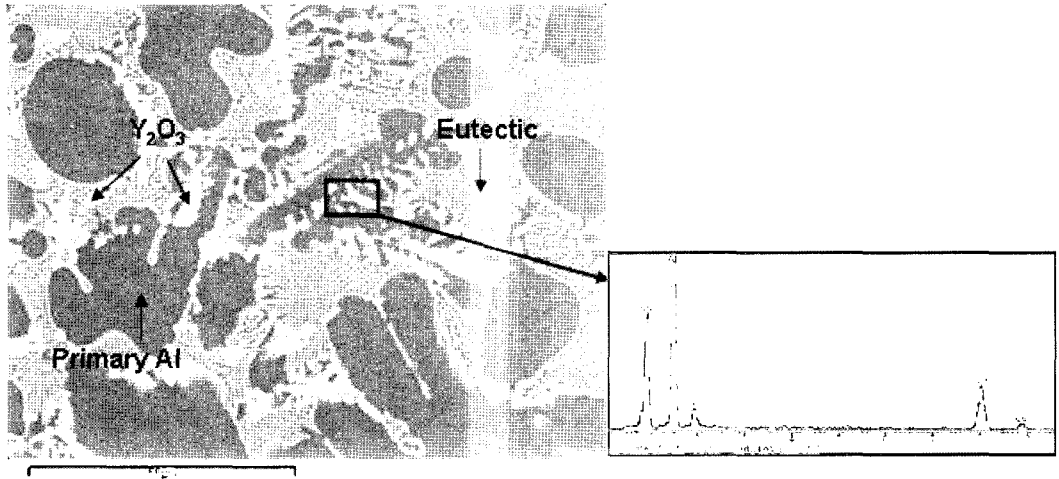


Fig. 2. SEM micrographs and EDS spectra of as-cast Al alloy with 20 wt.% Cu dispersed with  $Y_2O_3$  particles.

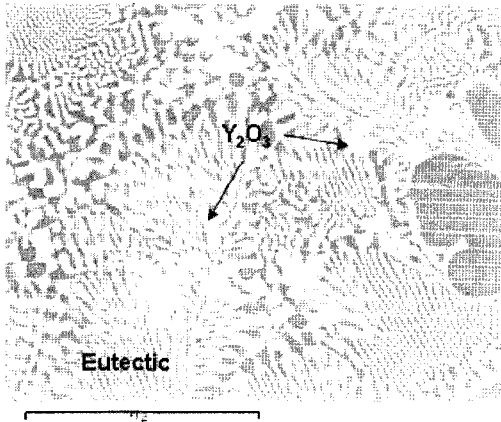


Fig. 3. SEM micrographs and EDS spectra of as-cast Al alloy with 33 wt.% Cu dispersed with  $Y_2O_3$  particles.

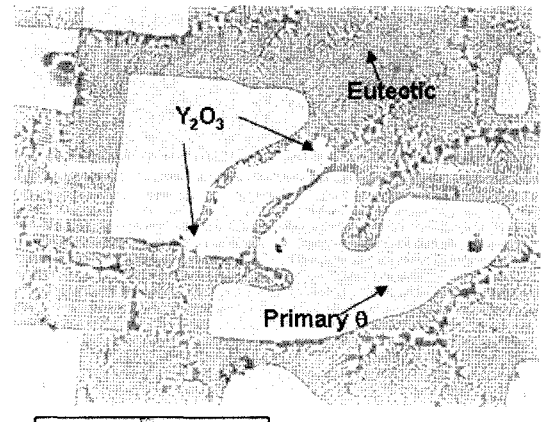


Fig. 4. SEM micrographs and EDS spectra of as-cast Al alloy with 40 wt.% Cu dispersed with  $Y_2O_3$  particles.

그림 3은 구리의 함량이 33 wt.%인 공정 조성에서  $Y_2O_3$  세라믹 입자를 분산시킨 알루미늄 주조 합금 조직에 대한 SEM 사진이다. 이 조성에서  $Y_2O_3$  세라믹 입자가 공정 조직 내에서 일부 클러스터를 이루면서 공정조직 입계를 중심으로 분포하는 것을 관찰할 수 있다. 공정 조성에서는 응고 과정 중에  $Y_2O_3$  세라믹 입자의 분산을 방해할 수 있는 초정 상들이 거의 없기 때문에  $Y_2O_3$  세라믹 입자가 대체적으로 공정 조직 내에 균일하게 분포할 수 있는 것을 알 수 있다.

그림 4는 구리의 함량이 40 wt.%인 과공정 조성에서  $Y_2O_3$  세라믹 입자를 분산시킨 알루미늄 주조 합금 조직에 대한 SEM 사진을 나타낸다. 미세조직

을 살펴보면 주조 조직의 응고 메커니즘이 아공정 조성과 매우 유사함을 알 수 있다. 즉, 응고 초기에는 초정  $\theta$  상이, 그 이후에 공정 조직이 응고되는 것을 알 수 있다. 그러나,  $Y_2O_3$  세라믹 입자가 분산되는 형태는 아공정 조성과 다른 것을 알 수 있는데, 아공정 조성에서는  $Y_2O_3$  세라믹 입자가 초정 알루미늄 상 내에 분포된 부분도 있고, 분포되지 않은 부분도 있는 것을 관찰할 수 있지만, 과공정 조성에서는  $Y_2O_3$  세라믹 입자가 초정  $\theta$  상 내에 전혀 분포되지 않는 것을 관찰할 수 있다.

이러한 아공정 조성과 과공정 조성에서의  $Y_2O_3$  세라믹 입자의 주조 조직 내에서의 분산 거동 차이를 설명하기 위하여  $Y_2O_3$  세라믹 입자와 각 상들간의

**Table 1. The values of specific gravity of various phase elements.**

조직	비중 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
초정 알루미늄	2.7
초정 $\theta$	4.6
$\text{Y}_2\text{O}_3$	5.0

비중값의 차이를 고려해 볼 필요가 있다. 아공정 조성의 경우, 초정 알루미늄 상은  $\text{Y}_2\text{O}_3$  세라믹 입자가 분산된 상과 분산되지 않은 상의 두 종류로 나타나는 것을 알 수 있는데, Table 1에서 보듯이  $\text{Y}_2\text{O}_3$  세라믹 입자의 비중값이 초정 알루미늄 상보다 훨씬 크기 때문에 좀더 무거운  $\text{Y}_2\text{O}_3$  세라믹 입자가 응고하는 동안에 초정 알루미늄 상 내로 분산하는 것이 가능할 것으로 사료된다. 그러나 과공정 조성에서 보여지는 초정  $\theta$ 에서는  $\text{Y}_2\text{O}_3$  세라믹 입자가 분산되지 않는 것을 관찰할 수 있는데, 이것은  $\text{Y}_2\text{O}_3$  세라믹 입자와 초정  $\theta$ 의 비중 차이가 거의 없기 때문에  $\text{Y}_2\text{O}_3$  세라믹 입자가 초정  $\theta$  내로의 분산이 매우 어려운 것을 알 수 있다. 이상의 실험 결과로부터 주조 공정 중에 세라믹 입자의 금속 기지내로의 분산 거동은 세라믹 입자와 기지 금속과의 비중값의 차이에 의해 좌우됨을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 알루미늄-구리 이원계 합금에서 합금 주조 조직 내로의  $\text{Y}_2\text{O}_3$  세라믹 입자의 분산 거동을 구리 함량의 변화에 따라 고찰하였다.  $\text{Y}_2\text{O}_3$  세라믹 입자는 공정조성에서 대체적으로 가장 균일하게 분산하는 것을 알 수 있는데, 이는 응고 과정 중에 세라믹 입자의 분산을 방해할 수 있는 초정 상들이 거의 없기 때문임을 알 수 있었다. 또한,  $\text{Y}_2\text{O}_3$  세라믹 입자는 응고 과정 중에 초정 알루미늄 상 내로의 분산은 가능하나, 초정  $\theta$  내로의 분산은 되지

않는데, 이는 세라믹 입자와 초정 상들과의 비중값 차이에 의한 것임을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부에서 지원하는 원자력 중장기사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. R. J. Arsenault: Mater. Sci. Eng., **44** (1984) 171.
2. V. C. Nardone and K. M. Prewo: Scripta Metall., **29** (1986) 43.
3. A. Ibrahim, F. A. Mohamed and E. J. Lavernia: J. Mater. Sci., **26** (1991) 1137.
4. N. Ramakrishnan: Acta Mater., **44** (1996) 69.
5. J. R. Groza: Int. J. Powder Metall., **35** (1999) 59.
6. L. M. Peng: Int. J. Mater. Process. Technol., **18** (2003) 215.
7. R. Zhong, H. T. Cong and P. X. Hou: Carbon, **41** (2003) 848.
8. H. Hu: Scripta Mater., **39** (1998) 1015.
9. B. W. Chua, L. Lu and M. O. Lai: Compos. Struct., **47** (1999) 595.
10. L. Hu and E. Wang: Mater. Sci. Eng., **A278** (2000) 267.
11. R. A. Saravanan and M. K. Surappa: Mater. Sci. Eng., **A276** (2000) 108.
12. S. C. Sharma, B. Anand and M. Krishna: Wear, **241** (2000) 33.
13. H. Ferkel and B. L. Mordike: Mater. Sci. Eng., **A298** (2001) 193.
14. C. Mayencourt and R. Schaller: Mater. Sci. Eng., **A325** (2005) 286.
15. J. Hashim, L. Looney and M. S. J. Hashmi: J. Mater. Process. Technol., **92-93** (1999) 1.
16. H. Chang, C. H. Pitt and G. B. Alexander: J. Mater. Sci. Lett., **12** (1993) 215.
17. Y. H. Seo and C. G. Kang: Compos. Sci. Technol., **59** (1999) 643.
18. A. R. Kennedy and A.E. Karantzalis: Mater. Sci. Eng., **A264** (1999) 122.